1. Hexafluoruro de azufre

El SF_6 puro es biológicamente inerte y no tóxico. Las pruebas realizadas con animales y seres humanos han indicado que con una concentración del 80% de SF_6 y 20% de O_2, no se experimentan efectos adversos.

Si bien es tolerable, se ha establecido un límite máximo denominado TLV, de 1000 ppmv en lugares de trabajo en los que el personal permanezca 8 horas al día, 5días de la semana, y que es muy inferior al utilizado para gases inofensivos que no están normalmente en la atmósfera.

El gas SF_6 no afecta a la capa de ozono, ni contribuye al efecto invernadero.

Eliminación y recuperación

La humedad y los productos de descomposición del SF_6 en el interior de un equipo en servicio pueden reducirse a niveles aceptables por adsorción.

La eliminación total de los productos de descomposición extraídos del equipo es factible mediante reducción con compuestos alcalinos. El gas usado puede recuperarse de nuevo para su uso. Existen empresas que se dedican a ello, incluso los propios fabricantes.

A pesar de todo, si se quiere evitar accidentes será conveniente manipular el gas siguiendo las instrucciones de operación oportunas.



2. GRADO DE PROTECCIÓN DE LAS ENVOLVENTES

Grado de protección de los envolventes de material eléctrico

EN-60529 (IP) y EN 50102 (IK)
CEI-529
UNE-20324

Primera cifra protección contra cuerpos sólidos			**Segunda cifra** protección contra cuerpos líquidos			**Tercera cifra** protección mecánica		
IP			**IP**			**IK**		
0		Sin protección	0		Sin protección	0		Sin protección
1		Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 50 mm (ej.: contactos involuntarios de la mano)	1		Protegido contra las caídas verticales de gotas de agua (condensación)	01	equivale a 200g desde 7,5 Cm de altura	Energía de choque hasta 0,150 J
2		Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 12 mm (ej.: dedos de la mano)	2		Protegido contra caídas de agua hasta 15º de la vertical	02	equivale a 200g desde 10 Cm de altura	Energía de choque hasta 0,200 J
3		Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 2,5 mm (ej.: herramientas, cables, etc.)	3		Protegido contra el agua de lluvia hasta 60º de la vertical	03	equivale a 200g desde 17,5 Cm de altura	Energía de choque hasta 0,350 J
4		Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 1 mm (ej.: herramientas finas, pequeños cables, etc.)	4		Protegido contra las proyecciones de agua en todas direcciones	04	equivale a 200g desde 25 Cm de altura	Energía de choque hasta 0,500 J
5		Protegido contra el polvo (sin sedimentos perjudiciales)	5		Protegido contra el lanzamiento de agua en todas direcciones	05	equivale a 200g desde 35 Cm de altura	Energía de choque hasta 0,700 J



6	Totalmente protegidos contra el polvo

6	Protegido contra el lanzamiento de agua similar a los golpes del mar
7	Protegido contra la inmersión hasta 1 m. de profundidad
8	...m Protegido contra los efectos prolongados de la inmersión bajo presión

06	equivale a 500g desde 20 Cm de altura	Energía de choque hasta 1,00 J
07	equivale a 500g desde 40 Cm de altura	Energía de choque hasta 2,00 J
08	equivale a 1,7 Kg desde 29,5 Cm de altura	Energía de choque hasta 5,00 J
09	equivale a 5Kg desde 20 Cm de altura	Energía de choque hasta 10,00 J
10	equivale a 5Kg desde 40 Cm de altura	Energía de cho



3. MANIOBRA Y PROTECCIÓN DE LAS BATERÍAS DE CONDENSADORES DE MT

La conexión de una batería de condensadores va acompañada de un régimen transitorio resultante de la carga de la batería.

Desde el punto de vista de la intensidad de la corriente, la carga oscilante provoca una sobreintensidad de amplitud función de las características de la red y de la batería. La conexión equivale prácticamente a establecer, en el punto considerado, un cortocircuito de corta duración.

Desde el punto de vista de tensión, la carga va acompañada de la propagación, sobre la red, de una onda de choque.

Con la extinción del arco en el aparato de maniobra, a un paso por cero de la intensidad, la batería separada sigue cargada a la tensión de pico, pero se reduce rápidamente a cero gracias a las resistencias de descarga de cada condensador.

Los recebados sucesivos a la ruptura de una batería pueden conducir a sobretensiones elevadas, peligrosas para la red y los condensadores.

La tensión de restablecimiento en bornes del interruptor alcanza 2Um en un semiperíodo.

La ruptura se consigue si la regeneración crece menos que la tensión de restablecimiento.

En el recebado los fenómenos son similares a los del cierre, aunque pueden ser amplificados por el hecho que el recebado se puede producir bajo una tensión doble de la que puede presentarse en el cierre.

Teóricamente se comprueba que si se producen varios recebados, las ondas de choque son crecientes, también las sobretensiones y las tensiones de restablecimiento.

Los recebados sucesivos a la ruptura de una batería pueden conducir a sobretensiones elevadas, peligrosas para la red y los condensadores. Por otra parte, las sobreintensidades producidas son proporcionales a la diferencia de tensión existente antes del recebado entre la red y la batería. Estas sobreintensidades tendrán amplitudes superiores a las del fenómeno de cierre y por eso serán más peligrosas para los materiales. Por eso es primordial utilizar una aparamenta de maniobra en la que la rápida regeneración dieléctrica evite la posibilidad de un recebado.

Las sobreintensidades a la conexión son muy variables según los tipos de montaje, pero en general rebasan los valores que pueden soportar los materiales. Por tanto, se entenderán necesarias las inductancias de limitación en la mayoría de los casos.

Los materiales de construcción han de soportar las sobretensiones y



sobreintensidades que se generan en la maniobra de los condensadores.

Si para los materiales de construcción no se han previsto solicitaciones especiales se tendrá que tomar precauciones adicionales.

Si las sobretensiones en bornes del condensador no aparecen más de mil veces por año soportará el condensador sin envejecerse.

Las sobreintensidades a la conexión no deben sobrepasar 100.In esta sobreintensidad la podrá soportar una frecuencia inferior a mil veces por año. En cambio una sobreintensidad de 30.In la podrá soportar una frecuencia de hasta cien mil veces año. En el caso de tener sobreintensidades mayores se tendría que instalar inductancias limitadoras colocándolas en serie con las baterías de condensadores.

Se consideran dos tipos de batería: batería única y batería en escalones.

En la batería única la S_{cc} de la red no produce sobreintensidades superiores a 100In, el número de maniobras es reducido ya que no hay regulación de energía reactiva. La intensidad de pico al cierre debe ser inferior al poder de cierre del aparato de protección para el número de maniobras considerado.

En la batería en escalones, es necesario instalar bobinas de choque en serie con las baterías para limitar las corrientes de conexión para no rebasar la sobreintensidad admitida por los condensadores, ni para rebasar la capacidad de cierre de la aparamenta.

Dimensionado térmico de la aparamenta

Un aparato se caracteriza por su intensidad nominal, que corresponde a un límite de calentamiento permanente. Si estos aparatos protegen o maniobran condensadores, hay que tener en cuenta la intensidad real que circula por la batería que podrá ser superior.

Los condensadores industriales de potencia pueden soportar una intensidad de 1,3 veces su valor nominal. Así pues, la intensidad capacitiva máxima asignada a 50 Hz para cualquier aparato será de 0,7 In.

Problemas que presenta la aparamenta y soluciones técnicas.

En la aparamenta se distinguen los aparatos de maniobra (interruptores contactores), y los aparatos de protección (interruptores automáticos).

Los principales problemas que se presentan son:

- Respecto a la intensidad de conexión cabe decir que el interruptor automático se ve sometido a una serie de picos de intensidad durante el período del arco que hace pensar en un desgaste en los contactos.
- Asegurar la protección contra la ruptura de corrientes de cortocircuito.



- Sobrecargas debidas a los armónicos.
- Es necesario que la aparamenta de mando y protección de las baterías de condensadores presente buenas características de durabilidad eléctrica y resistencia mecánica ya que se realizan varias maniobras en un mismo día.

Buenas soluciones

La utilización de interruptores con SF_6 es una buena solución frente a estos problemas. La rigidez dieléctrica de este gas garantiza la ruptura de corrientes capacitivas sin aparición de recebado.
Se obtiene una buena durabilidad eléctrica gracias al empleo de aleaciones de tungsteno en los dedos de contacto.

Protección contra las sobreintensidades

La protección contra las sobreintensidades puede realizarse con fusibles o con interruptores automáticos.

Protección con fusibles:
La intensidad de la corriente de cierre puede producir el deterioro de los fusibles. Se tiene que calcular muy bien el calibre de los mismos.
Esta protección resulta eficaz contra los cortocircuitos producidos en la conexión de los condensadores a la red.
Protección con interruptores automáticos
Los interruptores automáticos deben estar equipados con doble umbral de disparo.
El umbral bajo protege las sobrecargas debidas a un índice de armónicos de tensión anormalmente alta.
El umbral alto protege contra los cortocircuitos.



4. CAUSAS Y EFECTOS DE LOS ARMÓNICOS

Los armónicos son producidos por cargas no lineales que a pesar de ser alimentadas con una tensión senoidal absorben una intensidad no senoidal.

En nuestra instalación se consideran cargas no lineales a los transformadores, los SAI's y a toda aquella instalación que contenga electrónica de potencia.

Se comenta a continuación algunas causas y efectos de los armónicos.

Efectos sobre los conductores:

CAUSAS:

- las intensidades armónicas provocan el aumento de la I_{RMS}
- el efecto pelicular reduce la sección efectiva de los conductores a medida que aumenta la frecuencia.

CONSECUENCIAS:

- disparos intempestivos de las protecciones
- sobrecalentamiento de los conductores

Efectos sobre el conductor del neutro:

CAUSAS:

- cuando existe una carga trifásica y neutro, equilibrada, que genera armónicos múltiplos de 3.

CONSECUENCIAS:

- cierre de los armónicos homopolares sobre el neutro que provoca calentamientos y sobreintensidades.

5. PROTECCIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS

Los motores eléctricos pueden sufrir incidentes mecánicos y eléctricos que lleguen a deteriorar la máquina y pueda afectar a la red de alimentación. Estos incidentes se clasifican en tres grupos: (1) defectos debidos a la carga arrastrada, (2) defectos de la alimentación, (3) defectos internos del motor.

Dentro de cada uno de estos grupos consideramos los siguientes ejemplos:

1. *defectos debidos a la carga arrastrada*
   a. **la sobrecarga**: la potencia reclamada es superior a la potencia nominal del motor por lo que se produce una sobreintensidad que calentará excesivamente la máquina.

   Protección contra sobrecargas

   Las sobrecargas son detectadas utilizando una protección de máximo de intensidad, desconectándose el circuito cuando la intensidad supera un



umbral; o mediante una protección de imagen térmica. Se utiliza también el relé térmico, que se emplea normalmente asociado a un contactor. El relé térmico no desconecta directamente la carga sino que abre un contacto normalmente cerrado y cierra uno normalmente abierto, provocando la desconexión del motor.

Además existe la posibilidad de utilizar sondas de termistancias. Su resistencia varía en función de la temperatura. De esta manera se podrá controlar la temperatura de los devanados del motor. Así el motor estará protegido frente a cualquier calentamiento, no sólo el debido a sobrecargas.

b. **Los arranques demasiado largos y frecuentes**: provocan en la máquina un calentamiento excesivo debido a las sobreintensidades importantes que se producen en el momento del arranque, que sólo pueden ser admitidas durante breves espacios de tiempo.

c. **El bloqueo**: debido a una causa mecánica; hace que se consuma la intensidad del arranque junto con una disminución de su ventilación. Esto lleva a un calentamiento excesivo del motor.

Protección contra arranques demasiado largos y bloqueos.

Ambos se protegen con limitación de intensidad máxima, cuyo umbral de desconexión es inferior a la intensidad del arranque durante la duración normal del mismo.

Protección contra arranques demasiado frecuentes.

Esta protección es sensible al número de arranques en un intervalo de tiempo dado o a la separación de esos arranques en el tiempo. También es posible utilizar el relé térmico como protección.

2. *defectos de la alimentación*

a. La **caída de tensión** que provoca la disminución del par motor y de la velocidad. Esta disminución de velocidad conlleva un aumento de la intensidad y una disminución de la ventilación con el consiguiente calentamiento.

b. El **desequilibrio en la alimentación trifásica** puede llevar a pérdidas importantes en el motor y a un calentamiento rápido del mismo.

c. **Fallo de una fase:** provoca que, además de variar las condiciones de funcionamiento de la máquina, el par nominal que puede proporcionar el motor se reduzca de forma que para vencer el par resistente de la carga dicho motor deba consumir una intensidad mayor y se sobrecargue.



Protección contra fallo de fase

Se suele utilizar un relé térmico diferencial, que es un relé térmico que tarda menos tiempo en disparar si la sobrecarga es asimétrica (2 fases) que si es simétrica (3 fases).

3. *defectos internos del motor*
   a. El **cortocircuito entre fases:** provoca daños importantes en el bobinado.
   b. El **defecto a masa:** provoca daños importantes en el bobinado y en el circuito magnético en función de la posición del defecto en el bobinado y de cómo sea la conexión del neutro de la instalación.

Protección contra cortocircuitos entre fases y defectos a masa.

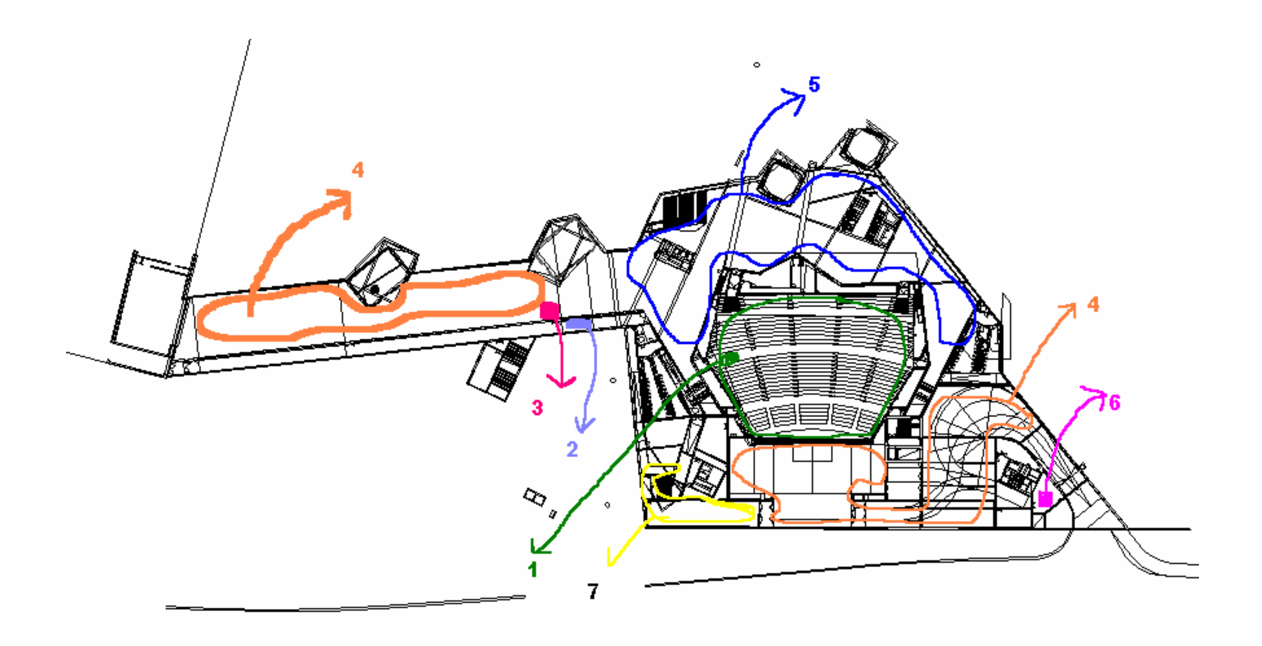
Los cortacircuitos entre fases se detectan mediante protecciones a máximo de corriente de fase o fusibles cortacircuitos los cuales aseguran una protección fase por fase del motor protegido pudiendo eliminar intensidades de cortocircuito elevadas.

6. ELECTROSTÁTICA

Se ha medido el campo magnético por los tres niveles por donde pasan habitualmente tanto visitantes como usuarios, para analizar el valor éste en relación a la salud de las personas. El esquema que se muestra a continuación es el de la planta -1. Cada color indica una zona con su valor correspondiente. El caso del auditorio y del foyer ha resultado nulo. Tabulizamos los valores:

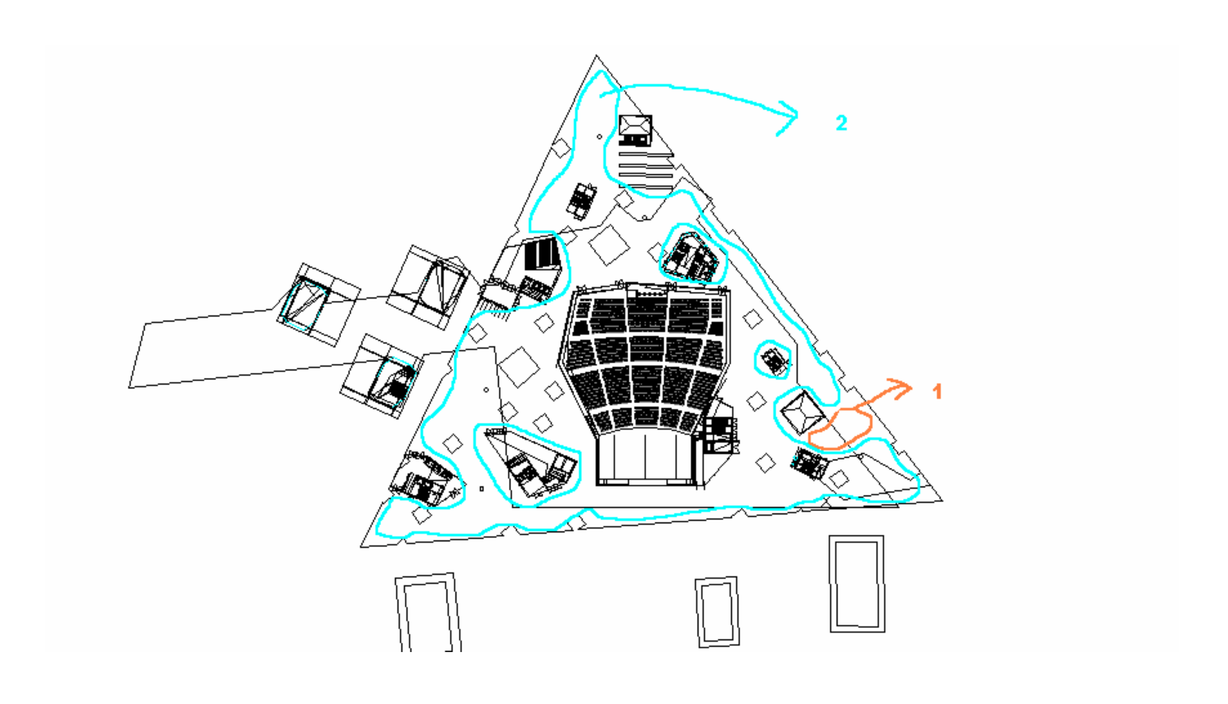
Número	X (μT)	Y (μT)	Z (μT)	Media cuadrática (μT)
1	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.25	0.35	0.20	0.47
3	0.49	0.40	0.18	0.66
4	0.04	0.01	0.00	0.04
5	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.22	0.30	0.35	0.51
7	0.05	0.04	0.01	0.06





De la planta +0 se obtuvieron sólo dos resultados diferenciados. El punto 2 por todo el edificio resultó alrededor de 0.03μT. Lo tabulizamos:

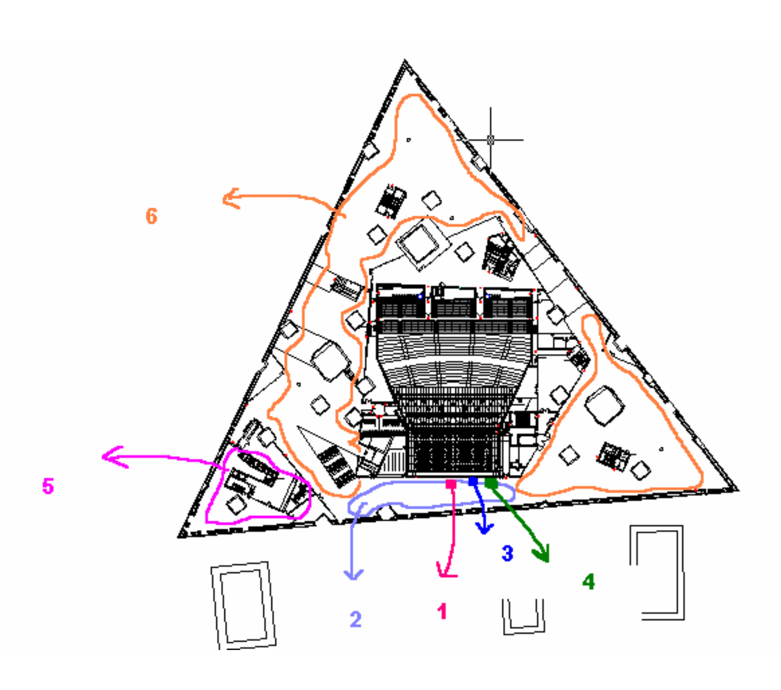
Número	X (μT)	Y (μT)	Z (μT)	Media cuadrática (μT)
1	0.11	0.00	0.04	0.12
2	0.03	0.01	0.00	0.03





Por último, en la primera planta se encontraron mayor variedad de resultados.

Número	X (µT)	Y (µT)	Z (µT)	Media cuadrática (µT)
1	0.13	0.19	0.07	0.24
2	0.03	0.00	0.00	0.03
3	0.54	0.20	0.16	0.60
4	0.30	0.38	0.10	0.49
5	0.03	0.01	0.00	0.03
6	0.04	0.01	0.01	0.02



Según los estudios realizados para campos eléctricos de 50 Hz no deberían producirse interferencias por debajo de 2.5kV/m. Para campos magnéticos la probabilidad de interferencia depende, sobre todo, de la sensibilidad del marcapasos: para una sensibilidad de 0.5 a 2 mV se calculan intensidades de interferencia de 14 a 55 µT.

En Estados Unidos, ACGIH (Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales) estableció en 1996 límites máximos de 1 kV/m y 100 µT para la exposición de trabajadores que lleven marcapasos.

Por tanto, no empezará a ser arriesgado el campo magnético hasta un valor de 14 µT. Podemos asegurar entonces que en ninguna zona del edificio habrá peligro de alteraciones en el funcionamiento de los marcapasos o desfibriladores. Para más detalle se puede leer el documento que sigue.



Estudio de los campos magnéticos de 50 Hz

La tecnología ha avanzado mucho en esta área y tanto los equipos utilizados en los ambientes laborales o en el hogar, utilizan por reglamentación internacional unas longitudes de onda distintas a las que utilizan los marcapasos y cardiodesfibriladores, para evitar interferencias, además la ingeniería biomédica ha incorporado dentro de los dispositivos filtros para brindar más seguridad a los pacientes.

El uso de electrodos bipolares ha disminuido las IEM (Interferencias Electromagnéticas) puesto que cierran la ventana de la interferencia, debido a que el ánodo y el cátodo quedan muy cerca en el extremo distal del electrodo, a muy corta distancia el uno del otro; por lo tanto, el arco de sensado es más pequeño y ocurre menos IEM. En cambio con los electrodos unipolares el arco de sensado es muy amplio, ya que va desde la punta del electrodo (cátodo) hasta la cubierta metálica del dispositivo (ánodo).

Respuesta de los marcapasos y los CDA (Cardiodesfibriladores automáticos) a la IEM

Inhibición de la estimulación

Una inhibición sostenida de la estimulación puede ser catastrófica en los pacientes dependientes de marcapasos, aunque es poco probable que ocurra por los algoritmos protectores disponibles en los mismos; además, la mayoría de la gente no es totalmente dependiente del marcapasos. Es muy importante subirle al dispositivo el valor de la sensibilidad a nivel ventricular para que sólo se inhiba con señales externas muy grandes, poco probables en la vida cotidiana. Cuando en los pacientes con CDA no se detecta la señal intrínseca, hay dos posibilidades: asistolia o fibrilación ventricular (FV) muy fina. El equipo baja automáticamente el nivel de sensibilidad hasta 0.1 mV; si no encuentra señal empieza a estimular asincrónicamente, o si detecta una FV, activa la terapia de desfibrilación. Pero si el CDA tiene los niveles de sensibilidad muy bajos puede detectar interferencias externas, asumir que se trata de una FV y dar choques inapropiados.

Disparos de seguimiento o de estimulación prematura

En los marcapasos que tienen el modo de seguimiento encendido como en los DDD o VDD, cualquier ruido detectado en la aurícula puede disparar el impulso en el ventrículo, o si detectan múltiples ruidos puede activar el modo itálica como si fuese una taquicardia atrial. Lo anterior se debe a que la sensibilidad del marcapasos es más fina en la aurícula



que en el ventrículo, puesto que la onda « A» intracavitaria es menor que la « R&raquo. Puede ocurrir también que la IEM dispare el sensor de ventilación minuto (respuesta modulada = R), el sistema asume que el paciente necesita más frecuencia cardiaca, y se produzca una taquicardia secundaria al proceso. Otra eventualidad puede ser desencadenada por campos magnéticos intensos como los de la resonancia nuclear magnética (RNM), que pueden generar estimulación entre 200 y 300 lpm (síndrome del marcapasos desbocado), con la consiguiente taquicardia y posible.

Energía eléctrica

La IEM sólo ocurre en proximidad de líneas de alto voltaje; por lo tanto, el problema es ocupacional, únicamente los campos mayores a 5 KV/m pueden afectar los marcapasos y producir inhibición atrial o ventrícular y reversión a modo asincrónico. Lo anterior depende del modelo del generador, de la configuración del electrodo, de la distancia, de la sensibilidad programada y de la marca del dispositivo. Si el paciente trabaja con líneas de alta tensión debe ser reubicado en otro empleo.

Equipos industriales

Los equipos que más producen IEM son los de soldadura de arco o máquinas de soldadura industrial; también algunos motores eléctricos potentes. Cada paciente debe ser analizado individualmente en el ambiente laboral, pero para prevenir estos problemas como regla general deben implantarse electrodos bipolares, reprogramar la sensibilidad en el punto adecuado para cada dispositivo y medir los campos magnéticos en el ambiente de trabajo. Así se chequeará el CDA en « monitor solamente» esto quiere decir que se le apagan las terapias y por lo tanto no va a efectuar el tratamiento de forma inapropiada, pero sí se tendrá la posibilidad de observar qué es lo que produce IEM.

7. TRIBOELECTRICIDAD

Cuando dos cuerpos se tocan, normalmente hay una diferencia de cargas y de polaridad. Esta diferencia es por supuesto afectada por la influencia del ambiente. Suponiendo que los dos cuerpos en contacto estarán así por un tiempo limitado, entonces habrá una transferencia de electrones de uno a otro como para satisfacer un momento de equilibrio en los átomos de las dos superficies, pero si este breve contacto se rompe violentamente (como por ejemplo al mover el pie cuando uno camina) entonces algunos electrones permanecerán apegados a los átomos de una u otra superficie (dependiendo de



las fuerzas de esta unión). Este fenómeno es llamado triboelectricidad, los dos cuerpos que brevemente estuvieron en contacto son separados con cargas diferentes a las que tenían antes del evento.

El volumen de electrones transferidos entre las superficies dependerá de los parámetros ambientales así como estructurales de los materiales, el tiempo del contacto, la cantidad de presión ejercida, etc... Es entendido que este fenómeno es común entre sólidos y líquidos pero no así con gases (al menos que los gases estén contaminados).

La protección contra la generación de cargas producidas por triboelectricidad puede ser obtenida usando materiales como algodón virgen, algunos tipos de papeles y madera virgen, sin embargo la cantidad de cargas generadas por el fenómeno de triboelectricidad depende de factores como la calidad del contacto de las superficies que están frotándose por ejemplo, el tamaño del área de contacto, la rapidez con que las superficies se mueven, lubricación y granulación microscópica de las superficies en contacto.

Algunas de las actividades diarias hechas por las personas pueden generar cargas que son acumuladas en el cuerpo. Hay bastantes estudios que arriban a resultados similares, en promedio y para valores bajos de un 10% a 20% de humedad relativa en el ambiente, los valores de cargas y potenciales acumulados son los mas altos. Sin embargo donde la humedad relativa del ambiente es alta, digamos 65% a 90% entonces se encuentra que el promedio de las cargas acumuladas en las actividades son bajas y consecuentemente los potenciales medidos son los mas bajos. Por ejemplo:

- Caminando sobre una alfombra, de 1.500V a 35.000V
- hoja de papel saliendo de un sobre de vinil, de 600V a 7.000V
- levantando una bolsa de plástico de la superficie de una mesa, de 1.200V a 20.000V
- caminando sobre piso de vinil, de 250V a 12.000V
- trabajador en su mesa de trabajo, de 700V a 6.000V

Es evidente que controlando la humedad relativa del ambiente implica grandes diferencias para la cantidad de cargas acumuladas.

La serie triboeléctrica ayuda a determinar la polaridad de cada uno de los dos materiales cargados. La magnitud de la carga electrostática está relacionada con la posición o distancia relativa entre sí de los materiales en la serie y su signo está determinado por la propensión de un material a ceder o ganar electrones que es lo que en realidad indica tal serie. Así p.e. el frotamiento de una pieza de vidrio y otra de teflón y su posterior separación



darán lugar a una carga electrostática negativa sobre la pieza de teflón y otra de igual magnitud y carga positiva sobre la de vidrio. La misma experiencia realizada p.e. con poliéster y níquel daría cargas positivas y negativas respectivamente en sus superficies pero con magnitud menor de la cantidad de carga eléctrica en culombios.

	SERIE TRIBOELÉCTRICA
+	Vidrio
	Cabello humano
	Nylon
	Lana
	Piel
	Aluminio
	Poliéster
	Papel
	Algodón
	Acero
	Cobre
	Níquel
	Goma
	Acrílico
	Poliuretano
	PVC
-	Teflón

